ChinaXiv合作期刊

引用格式：彭天玥, 唐得昊, 刘丽强, 等. 基于专利分析的海洋碳封存技术. 中国科学院院刊, 2022, 37(9): 1347-1359.
Peng T Y, Tang D H, Liu L Q, et al. Global technology of ocean carbon sequestration based on patent analysis. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(9): 1347-1359. (in Chinese)

基于专利分析的海洋碳封存技术

彭天玥　唐得昊*　刘丽强　韩 冰　朱本铎

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局 广州 510075
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州） 广州 511458

摘要　海洋是全球最大、最活跃的碳库，人类活动排放到大气中的二氧化碳约30%由海洋吸收，而海洋储碳周期达数千年，这对缓解并改善全球气候变暖至关重要。利用海洋吸收和封存二氧化碳是实现碳中和目标的重要技术手段。文章定义了海洋碳封存的专业技术范围，总结了海洋碳封存相关的技术方法，分析了当前海洋碳封存的技术发展趋势及国内外先进技术经验，以期为我国加快实现碳中和目标提供管窥之见。

关键词　碳中和，海洋，碳封存，专利分析，负排放，技术发展

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20210804001

chinaXiv:202303.09988v1

随着对气候变化风险认识的不断加深，几乎所有国家都承诺将全球平均气温控制在比工业化前高 2℃ 以下，并力争不超过 1.5℃。然而，全球平均气温在 20 世纪就已经上升了约 1℃，单单减少碳排放或许并不足以缓解全球气候变暖趋势[1]。因此，科学家提出要开发和实施二氧化碳（CO_2）“负排放”策略，即人为的主动清除 CO_2，碳封存是 CO_2“负排放”策略中的关键手段[2]。

国际能源署（IEA）将自然界中的碳库分为海洋库、陆地库和大气库，指出大气碳库中存在大量的 CO_2 导致了气候变化[3]。事实上，海洋是地球上最大的活跃碳库，其理论碳储量比陆地和大气碳库高出数倍，因此利用海洋封存 CO_2 是改变气候变化的有效方式。本文通过梳理前人研究，定义了海洋碳封存的技术应用空间范围，并从专利分析的角度，总结了海洋碳封存相关的技术方法，分析了当前海洋碳封存的技术发展趋势及国内外先进技术经验，希望能为我国加快实现碳中和目标提供管窥之见。

1 海洋碳封存技术概况

（1）海水储碳的自然过程。海洋在全球碳循环和气候变化中的作用不容小觑，作为全球最大、最活

*通信作者

资助项目：国家自然科学基金（41806130），广东省自然科学基金（2018A0303130063），南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）人才团队引进重大专项（GML2019ZD0209），中国地质调查局地调项目（DD20211394）

修改稿收到日期：2022年3月28日；预出版日期：2022年4月14日

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.09988v1

跃的碳库，其理论储碳量约为38 400 Gt C，约为大气碳库的50倍、土壤碳库的15倍。通过海—气交换的自然过程，海洋每年可净吸收约2.3 Gt C[4]；而沿海生态系统中的植被（如红树林、盐沼等）通过光合作用每年约可吸收0.23 Gt C[2]。海水储碳的自然过程主要可分为4种机制①：① 生物泵（BP），主要利用海水中的浮游植物通过光合作用吸收溶解表层海水中的CO_2[3]；② 微型生物泵（MCP），利用海洋微型生物细胞、细菌和病毒等对碳的捕食和代谢过程，将活性溶解有机碳转化为惰性有机碳，最终影响海洋碳循环；③ 碳酸盐泵（CP），将海水中溶解的CO_2与钙离子反应生成碳酸钙后沉入海底；④ 溶解度泵（SP），通过海洋环流和翻转等水体运动，将高纬度地区海水在低温、高盐度条件下吸收的CO_2从表层输送至深海[5-10]。人类活动排放的CO_2进入海洋后，可在深海水体中停留成百上千年，在海底沉积物中的贮存时间甚至可长达上百万年[11]。

（2）海洋碳汇空间。海洋碳封存技术应用前景广阔，可分为滨海“蓝碳”、海洋固碳和储碳、海底地层碳封存3种碳汇空间。根据这3种不同空间的特征及其储碳机理，可通过技术手段人为干预海洋碳封存效率。① 滨海“蓝碳”。指以红树林、盐沼、海草床等为代表的滨海湿地生态系统通过光合系统作用吸收并固存的碳，主要储存于植物的根、茎、叶，以及沿海沉积物中[12]。② 海洋固碳和储碳。技术手段多样化，主要以BP、MCP、CP和SP这4种海洋碳泵机制为原理，包括结合海水养殖的海洋生物增汇固碳技术、向海水施放营养素来增强海洋对大气CO_2的吸收效率的海洋肥化技术、大规模工业点源捕集CO_2后将其直接注入深海低洼地形处形成“二氧化碳湖”的技术等[13,14]。③ 海底地层碳封存。包括将CO_2注入海底玄武岩或橄榄岩孔隙后形成稳定碳酸盐的碳矿化技术、结合油气开采将超临界CO_2注入油气储层或深部咸水层的海洋地质封存技术等[13,15-17]；此外，还有科学家曾提出将CO_2转化为水合物形式的固体后埋入海底，或将CO_2矿化后抛入海底等方法[13,18]。

（3）现有的碳封存技术。无论是在陆地还是在海洋，现有碳封存技术都存在一定壁垒，技术实施需要考虑技术可靠性与安全性，以及经济成本和法律法规等限制因素。① 陆地碳封存和滨海“蓝碳”碳封存。其能力是可逆的，需长期实施[2]，尽管临时封存CO_2会短暂改善气候变化状况，但碳封存的时效性无论从科学发展还是经济需求方面都十分重要，因此还需考虑长期监测技术及成本。② 以海水层为主的海洋肥化和海底CO_2湖等方法。虽可将CO_2储存于深海上千年，但可能会导致海水pH值发生改变，影响海洋生态。因此，需更多基础数据和观测数据，充分认识海水pH值对海洋生态系统造成的影响，有针对性地提出解决方案。③ 利用海底玄武岩或橄榄岩的碳矿化和深部咸水层的碳封存技术。可使CO_2以惰性形式几乎永久固存于深海，自然泄漏率低，但仍需考虑技术实施诱发地震或因地质活动造成CO_2泄露的可能性。

2 专利分析

本文使用万象云全球专利检索数据库②，于2021年6月17日对全球海洋碳封存相关发明专利进行检索（检索策略见附录1），以分析海洋碳封存的技术发展趋势和研发热点。基于前期调研，将专利技术检索词定为与海洋相关的碳中和、碳封存、碳储、增汇固碳、碳矿化、地质封存等词汇，并限定检索专利的主国际专利分类号（IPC号）③，其中与电机和建筑相关的E类和F类限定于“地质封存”相关主题中。由

① 清华大学产业发展与环境治理研究中心. 研究 |【“碳中和”系列之三】固碳增汇的下一个“风口”在哪？海洋碳库不容小觑！. (2021-02-04)[2021-06-27]. http://www.cideg.tsinghua.edu.cn/info/xsxw/3985.

② https://www.wanxiangyun.net.

③ 限定为A01、B01、B07、B09、B63、B65、B67、C01—03、C07、C08、C12、C25、G01、G05、G06、E02、E21、F01—04、F16、F17、F25的部分小类。

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.09988v1

于机器检索不对语意进行解读分析，无法保证检索结果与分析对象的相关度。因此，将检索结果的专利摘要逐一研读后，剔除无关专利（如由碳纤维材料制成的海底电能储存罐），对相关度较高的专利进行整体态势分析，并重点分析近 10 年申请和授权的专利，以期了解海洋碳封存领域在全球的技术布局和发展情况。考虑到专利从申请到公开存在的延迟，本研究不分析 2021 年的数据。经检索，共获得专利（族）文件 1 861 件；人工查阅后，得到与海洋碳封存技术相关的发明专利申请 593 件，其中 2011—2020 年发生的专利申请 267 件、授权专利 100 件。

2.1 专利态势分析

2.1.1 专利申请整体趋势

专利申请量一般能够反应各国在该领域的技术研发活跃程度，而专利授权则能体现一定的技术应用价值。海洋碳封存相关专利最早发布于 1981 年（表 1），其技术创新在 2008 年前并不活跃（图 1）；2008—2009 年为专利申请高峰期，期间申请的 106 件专利中，35 件已获授权。截至 2021 年 6 月，海洋碳封存技术发展较为缓慢，近 15 年已授权且有效专利占比约 28.1%，尚未授权的专利占比 43.2%，失效专利（包括曾被授权和从未授权的）占比 28.7%。从法律状态的角度来看，该领域 2012 年前申请的大部分专利都已处于公知公用状态；此状态下的专利在中国不受法律保护，可作为潜在信息和技术资源，充分挖掘失效专利价值，从而掌握先进技术，再进一步创新，以节约研发时间和费用。研究结果表明，海洋碳封存技术尚处于起步阶段，具有一定的技术发展潜力。

2.1.2 主要国家专利申请和授权情况

将各项专利的申请人国籍进行分类统计，发现海洋碳封存技术的主要研发国为日本、美国、中国、韩国和英国（表 1、图 2 和 3）。日本最早于 1981 年进行过相关专利的申请，40 年间共申请 179 件专利，

表1　主要国家海洋碳封存相关技术最早专利申请年和整体专利授权率（按授权专利数量排序）

Table 1　The earliest filing year of patent application and overall patent authorization rate for ocean carbon sequestration in major countries (sort by authorization amount)

国家	专利授权率	最早申请年
韩国	72%	2000年
日本	30%	1981年
美国	38%	1992年
中国*	39%	2001年
英国	38%	2005年
澳大利亚	57%	1994年
加拿大	10%	1998年
挪威	62%	1998年

*港澳台地区数据暂缺

* Data of Hong Kong SAR, Macao SAR, and Taiwan Province is not included

2009 年前后是其技术研发最为活跃的时期，其专利申请量占全球同年总申请量的 69.6%，但专利授权率不高，近年的研发进展也不明显。美国和中国的专利申请量仅次于日本。美国最早于 1992 年在该领域进行过专利布局，2008 和 2010 年为美国的技术研发活跃期，近 10 年专利研发活动较为平稳；中国最早于 2001 年在该领域进行专利布局，从 2011 年起专利申请呈上升趋势，处于技术发展的起步阶段。韩国的专利申请总量虽位居世界第 4，但其授权率高达 72%，这说明韩国在海洋碳封存领域的技术研发实力和自主创新能力较强，发明专利质量相对较高。值得注意的是，加拿大、挪威和澳大利亚的专利申请量虽然较少，但从 20 世纪 90 年代就开展了相关专利的申请。其中，澳大利亚的专利授权率也较高，这说明该国对此领域关注较早，且具有一定前瞻性。

整体而言，中国和韩国近 10 年对海洋碳封存领域的技术重视度高于其他国家，技术创新力活跃，尽管我国近 10 年在海洋碳封存领域的专利申请总量位

ChinaXiv合作期刊

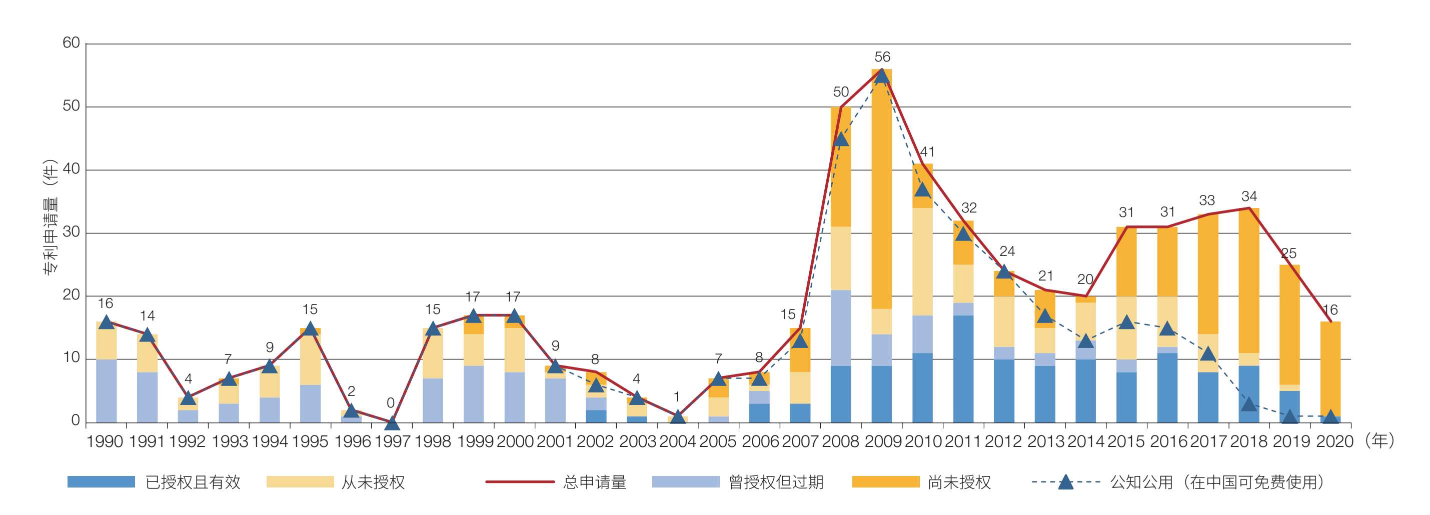


图 1　1990 年后全球海洋碳封存相关专利申请量及法律状态分布趋势图

Figure 1　Application activities of global technological patents about ocean carbon sequestration after 1990

日本 179 53
美国 116 44
中国* 104 41
韩国 75 54
英国 34 13
澳大利亚 21 12
加拿大 20 2
挪威 13 8
卢森堡 9 3
以色列 8 2
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180
申请专利数量（件）
授权专利数量（件）

图 2　海洋碳封存相关专利申请量和授权量最多的 10 个国家

Figure 2　Top 10 countries with the highest number of patent applications and authorizations for ocean carbon sequestration

* 港澳台地区数据暂缺

* Data of Hong Kong SAR, Macao SAR, and Taiwan Province is not included

专利申请数量（件）
45 40 35 30 25 20 15 10 5 0
2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020（年）
日本
美国
中国*
韩国
英国

图 3　主要研发国 2006—2020 年海洋碳封存相关专利申请趋势

Figure 3　Trends of patent applications related to ocean carbon sequestration patents in major R&D countries from 2006 to 2020

* 港澳台地区数据暂缺

*Data of Hong Kong SAR, Macao SAR, and Taiwan Province is not included

chinaXiv:202303.09988v1

chinaXiv:202303.09988v1

居世界第 1，期间获得授权的专利数量位居世界第 2（图 4），但专利授权率（专利申请量与授权量的比率）远低于授权量第 1 的韩国。

影响各国专利授权的因素主要有：① 专利本身质量不高或在专利授权国的市场应用价值不大导致无法授权；② 在专利授权国已有其他类似专利布局；③ 专利授权国对相关技术关注度不高而影响授权进度和授权率。2011—2020 年，全球各国共授权过 100 件海洋碳封存相关专利，其中 33 件由韩国授权，31 件由中国授权。各国授权专利的技术结构侧重点不一（图 5），韩国注重 B01（一般物理或化学的方法或装置）和 F17（机械工程：气体或液体的贮存或分配）专利的研发；中国专利侧重于 A01（农林业、渔业）和 E21（土层或岩土地钻进）；美国侧重于 B01 和 C12（生物化学）专利的研发。

2.1.3 技术研发热点

专利名称能简洁、准确地概括专利申请保护的主题和类别。利用智能分词工具分别对 2011—2015 年和 2016—2020 年所有海洋碳封存相关专利名称进行关键词频统计，并对高频词汇进行分析（图 6），发现近 10 年全球在海洋碳封存相关领域所申请的专利类型主要为某种方法、装置或系统，所涉及的技术主要集中于实验测试、天然气水合物或油气开采、海洋生物固碳（如浮游生物、微生物、海水养殖等）、地质封存、海洋酸化或肥化等，且各类技术在 2011—2015 年均有授权专利产生。与其他技术相比，天然气水合物或油气开采相结合的 CO_2 封存技术为 2016—2020 年的研发热点，相关专利的申请和授权主要集中于此类技术领域，更受研发人员和市场青睐。

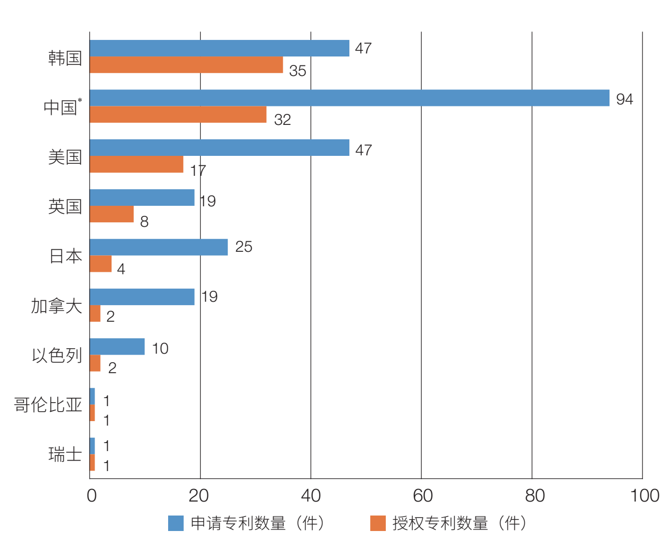


图 4　2011—2020 年海洋碳封存相关授权专利的申请人归属国分布

Figure 4　Nationality distribution of applicants for authorized patents about ocean carbon sequestration technologies from 2011 to 2020

* 港澳台地区数据暂缺

* Data of Hong Kong SAR, Macao SAR, and Taiwan Province is not included

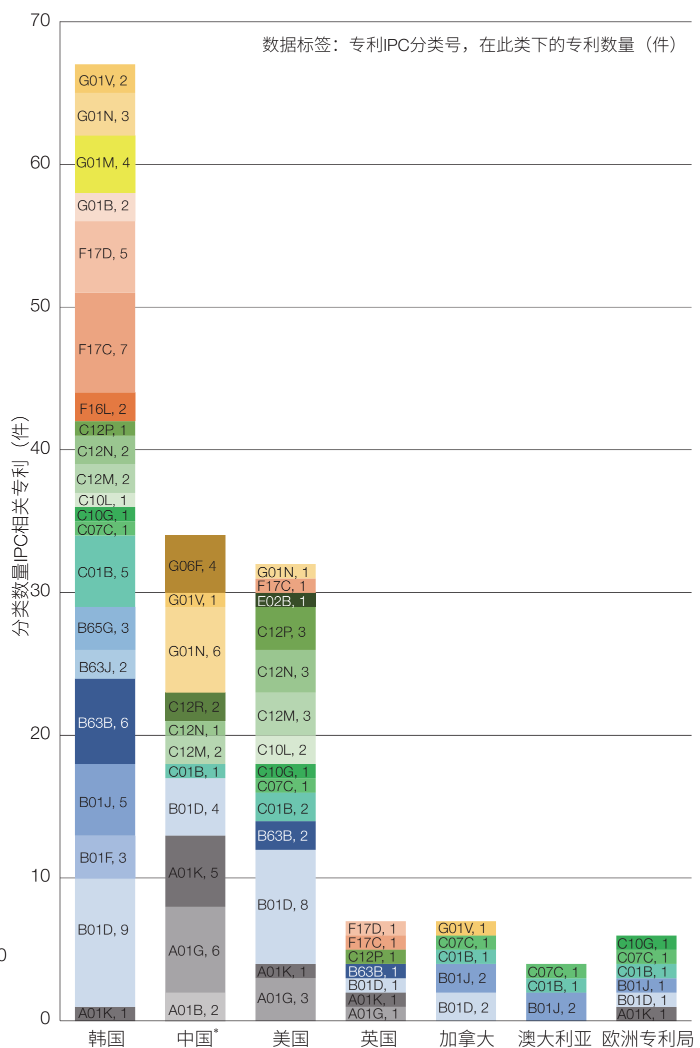


图 5　2011—2020 年海洋碳封存相关专利授权国家 / 地区技术构成分布

Figure 5　Distribution of technology composition of major patent granting countries and regions from 2011 to 2020



图 6　2011—2020 年海洋碳封存相关专利申请和授权专利研发热点词频词云图

Figure 6　Keywords of hot topics of patent applications and authorizations about ocean carbon sequestration from 2011 to 2020

（a）2011—2015 年申请专利词云；（b）2016—2020 年申请专利词云；（c）2011—2015 年授权专利词云；（d）2016—2020 年授权专利词云

(a) Patent term cloud applied for from 2011 to 2015; (b) Patent term cloud applied for from 2016 to 2020; (c) Authorized patent term cloud from 2011 to 2015; (d) Authorized patent term cloud from 2016 to 2020

chinaXiv:202303.09988v1

2.2 专利申请人分析

2.2.1 申请人主体

专利申请人是向专利局提出就某一发明取得专利请求的当事人，其主体可以是自然人，也可以是机构，本研究仅对机构进行分析。对海洋碳封存相关技术专利的申请人名称进行规范化处理后，发现 2011—2020 年美国南加利福尼亚大学和韩国海洋科学技术院为在该领域内提交专利申请数量最多的机构（各 14 件）（图7）。

（1）韩国海洋科学技术院。较之美国南加利福尼亚大学，韩国海洋科学技术院申请的专利授权率更高，共有 12 件专利获得授权，且大部分为独立申请。韩国海洋科学技术院 2011 年就在韩国范围内提交了 4 件专利，主要为 CO_2 的海洋储存管道运输安全分析及其管道效应分析实验装置和方法，并均获得授权。此后至 2015 年，每年都提交过海洋地质方面 CO_2 运输、储存或泄露监测相关的专利，然而其仅在韩国本土提交专利申请，未进行全球布局。

（2）美国南加利福尼亚大学。近 10 年合作研发的专利较多，其专利申请主要集中于催化溶解 CO_2、船舶 CO_2 封存和利用 CO_2 生产可再生燃料等，专利布局范围较广。除了美国本土外，还在中国、英国、澳

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.09988v1

大利亚、加拿大、世界知识产权组织等提交过专利申请并获得过授权，这从侧面说明其专利技术水平在世界各国的认可度较高。在海洋碳封存方面申请的专利技术多数为合作研发，其与美国加州理工大学合作申请的9件专利中有3件获得授权。

（3）中国的申请机构。① 浙江海洋学院。该学院是国内近几年在海洋碳封存领域提交专利申请和授权率都相对较高的机构，2013—2014年共独立提交4份专利申请，并均获得授权；其技术研发方向为利用海水养殖（如海洋牧场、藻田、贝类）等进行增汇固碳。② 中国石油大学（华东）和大连理工大学。这2家机构近几年在海洋碳封存领域的专利申请相对其他机构也比较活跃，均在天然气水合物储层置换 CO_2 方法上有不同的技术创新；大连理工大学还考虑了将海水脱盐与 CO_2 捕集相结合进行技术创新。③ 其他。同济大学、浙江大学、中国水产科学研究院黄海水产研究所、中国石油大学（北京）、西南石油大学等国内高校或研究所近年也都尝试在海洋碳封存领域进行技术创新，但目前为止进展较缓。

2.2.2 申请专利方向

将申请人分为高校、科研院所、企业和个人，并根据各专利的主 IPC 分类号解读各项专利的主要技术类别后，发现2011—2020年这4类申请人的申请专利方向各有不同。① 高校。侧重于E21（土层或岩土地钻进）、B01（一般物理或化学的方法或装置）和C12（生物化学）专利的研发，其专利授权率为46.6%。② 科研院所。专利结构主要分布于G01（测量、测试），其专利授权率高达67.5%。③ 企业。侧重的技术研发范围较广，在B01、C02（水、废水、污水或污泥处理）、E21和G01均有涉猎，专利授权率约27.6%。④ 个人。以个人名义申请的专利大多分布在B01，其专利授权率仅23.6%。

2.2.3 专利引用次数

专利的引用次数反映了各专利被其他专利引用的情况和参考价值。对各申请人的专利引用情况进行统

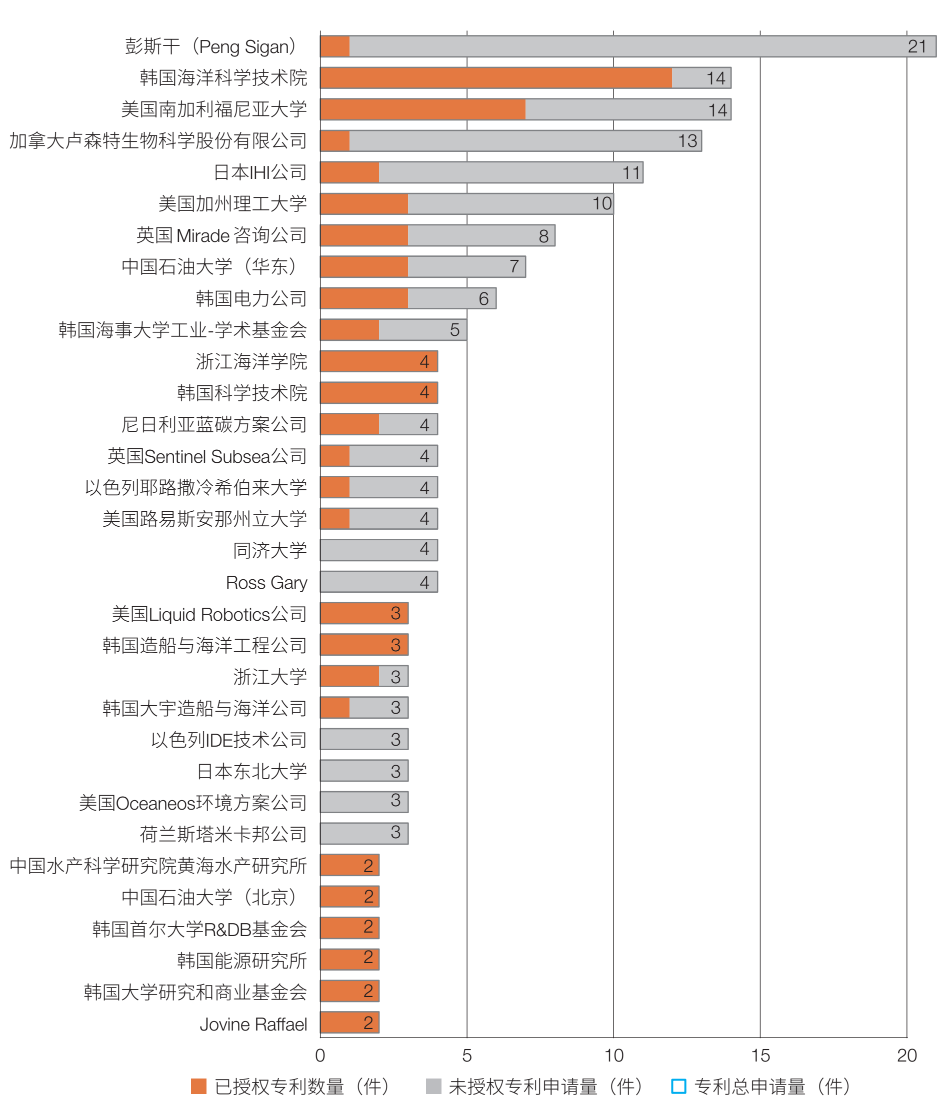


图7　2011—2020年海洋碳封存相关专利主要申请人及其授权专利数量

Figure 7　Main applicants of ocean carbon sequestration-related patents and their authorized patent numbers from 2011 to 2020

仅列出申请总量超过3件专利的或授权量超过2件专利的专利申请人

Only list patent applications who have applied for more than three patents in total, or those who have two authorized patents

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.09988v1

计（表2），发现美国无人海洋机器人制造企业 Liquid Robotics 公司、大连理工大学、西南石油大学、北京师范大学及部分自然人等申请者的专利申请总量虽不多，但被引次数较高，这说明他们在海洋碳封存领域申请的专利具有较强的先进性和创新性。

2.3 重要专利挖掘

2.3.1 技术创新性较强的专利

例 1：“用于给浮游植物施肥并封存大气碳的自主波浪动力物质分配船”专利。由前文提及的专利被引次数最多的申请人美国 Liquid Robotics 公司与自然人 Hine Roger G 共同申请（专利申请号：US201213424239），也是 2011—2020 年在海洋碳封存领域被引次数最高的专利，共计被引 32 次。该专利发明了一种以波浪为动力的无人船，通过往海洋投入肥料促进浮游植物生长，加强食物链中碳的固定，提高海洋生物的碳封存能力，同时改善区域内的渔业资源。此专利于 2014 年被美国专利局授权，专利有效期至 2032 年；美国 Liquid Robotics 公司还对此项技术在欧洲专利局和中国香港进行过专利布局，均获得授权；但其在中国香港的专利权已失效，在中国境内为公知公用状态，可以免费使用。

例 2：“用于海上能源生产和二氧化碳封存的系统和方法”专利。由位于美国加利福尼亚州的 Podenergy 公司联合 4 位自然人共同开发（专利申请号：US201313781597），被引次数在海洋碳封存领域排名第 2，共计 18 次，但至今仍未被授权。该专利涉及近海能源生产，通过生物厌氧反应生产甲烷和氢气，同时原地封存产生的 CO_2。

例 3：“一种海底天然气水合物稳定层逆向生产方法及生产设备”专利。由西南石油大学研发（专利申请号：CN201610071790.1），通过降压采气、注热分解、CO_2 固结 3 个步骤循环，利用 CO_2 置换法开采天然气水合物，克服了海底天然气水合物在开采过程中天然气易泄漏、易污染海洋环境与易发生地质灾害的难题。该专利共计被引 16 次，于 2017 年在国内获得授权，有效期至 2021 年。

表2　2011—2020 年海洋碳封存相关专利被引数量超过 10 次的申请人/机构及其被引专利件数和专利申请总量

Table 2　Applicants whose patents were cited by more than 10 times, amount of their cited patents and filed applications about ocean carbon sequestration patents from 2011 to 2020

申请人/机构名称	专利被引次数	被引专利件数	总申请量
美国Liquid Robotics公司	33	2	3
Hine Roger G	32	1	1
大连理工大学	21	3	7
美国南加利福尼亚大学	20	7	14
美国加州理工学院	18	6	10
Capron Mark E；Hasan Mohammed A；Stewart James R；Sudia Frank W	18	1	1
美国Podenergy公司	18	1	1
彭斯干（Peng Sigan）	17	6	21
西南石油大学	17	2	2
中国石油大学（华东）	16	4	7
北京师范大学	14	1	1
荷兰斯塔米卡邦公司	11	2	3
Trollux Jacques François André	11	2	2
韩国电力公司	10	4	6
以色列耶路撒冷希伯来大学	10	4	4
Oney Stephen K	10	1	1

例 4：“海底地质体 CO_2 封存潜力评估方法”专利。由北京师范大学开发（专利申请号：CN201110200982.5），自 2011 年提交申请后共计被引 14 次，但至今尚未获得授权。该方法利用海底盆地面积、沉积厚度、埋深系数等参数对海洋地质封存 CO_2 的储层封存潜力进行计算，同时评估 CO_2 埋藏风险。

例 5：“基于水合物法的 CO_2 捕集与海水脱盐联

chinaXiv:202303.09988v1

产装置及方法”专利。由大连理工大学发明（专利申请号：CN201410109670.7），于2014年获得授权，目前共计被引13次。该方法致力于在海水淡化的同时将CO_2转化为水合物形式的固体，便于储存。该专利有效期至2034年。

2.3.2 市场价值较高的专利

专利转让是指专利申请人和专利权人把专利申请权和专利权转让给他人的法律行为；专利转让生效后，受让人会取得专利申请人或专利权人的法律地位，获得专利的全部所有权。专利许可通常是指专利权人允许被许可方在一定区域内、一定期限内以一定方式使用专利，被许可人不持有专利归属权。通常，有一定市场价值的专利才会发生转让或许可。通过专利的转让和许可次数，可了解市场价值和技术含金量较高的专利。

2011—2020年海洋碳封存领域发生转让次数最多的专利为美国加州理工大学、美国南加利福尼亚大学和以色列耶路撒冷希伯来大学联合研发的“CO_2封存方法和装置”（专利申请号：US201514975584、US201815996121）；该专利的主体是一种利用催化剂在水体（如海水）中溶解CO_2，以实现碳封存目标的方法。针对此方法，申请人在美国先后提交过2份专利申请，2次申请的权利项有所不同，均获得授权，并分别发生过4次和3次转让。此外，申请人还在其他国家尝试进行专利布局，但均未获得授权。此外，美国路易斯安那州立大学研发的“采油单井辅助重力泄油工艺”（专利申请号：US201615572704）先后发生过5次转让；该工艺通过向地层注入CO_2提高石油采收率，同时实现碳封存的目的，该专利于2020年被授权。

值得注意的是，上述3份申请专利虽发生过数次转让，但专利权最后都回到了原本申请人的手中，说明这些专利申请人对专利的市场价值重视程度较高。同时，“CO_2封存方法和装置”（专利申请号：US201815996121）也是2011—2020年全球海洋碳封存领域申请的专利中唯一发生过许可的专利，专利被许可人为美国国家科学基金会（NSF），这说明NSF对这项专利的认可度较高。

2.3.3 产学研结合较紧密的专利

（1）引用文献较多的专利。大多数情况下，一项发明创造能够申请专利必须拥有一定的工业实用性。因此，通过对专利的科技文献引用情况，能够了解科学研究对发明创造产生的影响。一件专利引用科技文献越多，代表科学研究对其技术的影响越强，该项技术的产学研结合就越紧密。2011—2020年，全球海洋碳封存领域引用科技文献最多的专利为美国Liquid Robotics公司与自然人Hine Roger G共同申请的“用于给浮游植物施肥并封存大气碳的自主波浪动力物质分配船”（专利申请号：US201213424239），共计引用30多篇科技文献。前文提到过该专利是被引次数最多的专利，具有较强的技术创新性和先进性，是2011—2020年产学研结合在海洋碳封存领域应用的代表。值得注意的是，该专利发生过一次转让，为共同申请人Hine Roger G将其所属专利权全部转让给美国Liquid Robotics公司，这侧面说明该公司对此专利具有一定重视度。此外，中国水产科学院南海水产研究所发明的“一种海洋生物固碳计算方法”（专利申请号：CN201711219935.9；未授权）、美国史密森尼环境研究中心发明的“用于快速测量水中CO_2的系统和方法”（专利申请号：US201514937331；已授权且有效），以及日本IHI公司发明的“CO_2气体固定方法及其装置”（专利申请号：US201113817984；已授权且有效）均引用了11—15篇科技文献，产学研结合较为紧密。这3项专利中，仅日本IHI公司的专利在日本、美国、新加坡、英国、加拿大、澳大利亚、挪威、世界知识产权组织进行过专利布局，其他2项专利仅在发明人所在国家申请了专利保护。

（2）校企合作专利。校企合作专利申请是知识

ChinaXiv合作期刊

成果转化、技术从理论创新到市场应用的一种重要途径，也是产学研结合的代表成果之一。在此领域，2011—2020年校企合作申请的专利共8件，其中4件获得授权，各专利基本情况见表3。

3 结论及建议

（1）主要结论。随着碳中和相关政策的发布，我国在海洋碳封存领域的技术创新活跃度正逐步上升，预计未来会有一段时间的技术研发活跃期；但目前我国专利申请的质量整体偏低，申请的专利授权率不高，在市场应用价值和知识成果转化方面还有待提高。因此，急需吸收各国先进经验，提高技术创新力和核心竞争力。本文通过对海洋碳封存技术专利的分析，研究了技术发展趋势和研究热点，对比了技术研发实力较强的机构，并挖掘技术创新性较强、市场价值较高、产学研结合较紧密的专利，发现近几年与海底能源和资源开发相结合的海洋碳封存技术更受各国科研人员和市场青睐。例如，海洋天然气水合物和油气开采、与渔业相关的生物固碳技术等，将碳中和理念与提高经济效益相结合，具有较长远的发展前景和较高的技术应用潜力。

（2）技术发展建议。由于海洋碳封存实施规模大，各类技术特点和优劣势不一。为提高技术创新力，节约研发过程中的试错成本，海洋碳封存技术创新可利用公知公用专利进行二次创造。通过吸取国内外先进经验，积极推进学科交叉研究，在充分发挥优势的同时，补足各类技术的短板，提高技术应用价值。例如：① 以海洋地质为基础的碳封存方法，如结合天然气水合物或石油开采的CO_2置换封存法等，具有较高市场价值，较优技术有效性和持久性，因此相关专利研发可侧重于降低技术实施成本，减少自然灾害风险等；② 利用海洋生物进行增汇固碳，如海水养殖、滨海湿地“蓝碳”等，具有一定经济效益，但其封存能力可逆，因此可着力解决技术长效性和稳定性的问题；③ 利用海水溶解CO_2或海洋肥化等化学方法进行CO_2封存，可能影响海洋生态环境，其封存能力和长效性也有待提高。有效性、持久性和稳定性是碳封存能力评估的重要标准，但在碳封存效果相当的情况下，兼顾经济效益的技术更具发展潜力。此外，针对碳封存效果的监测设备和评估方法的技术研发也是未来海洋碳封存领域技术发展的重要方向。

（3）专利布局建议。我国的海洋碳封存领域未

表3 2011—2020年校企合作在海洋碳封存领域申请的专利基本情况及IPC分类号

Table 3 Patent applications by school-enterprise cooperation in field of ocean carbon sequestration and their IPC categories, from 2011 to 2020

专利名称中文翻译	专利申请号	申请人国籍	IPC大类（相关性按顺序排列）	是否授权
CO_2封存的方法和装置	US201815996121	美国、以色列	B01，C12	是
CO_2封存的方法和装置	CN201580076509.7	美国、以色列	C12，B01	否
CO_2封存的方法和装置	CN201811574263.8	美国、以色列	C12，B01	否
CO_2封存方法及装置	GB20210002230	美国、以色列	B01，C12	否
海洋平台发电优化与CO_2减排方法	CN201710315254.6	中国	G06	是
气体处理系统及具有该系统的海上装置	KR20180141109	韩国	B63，F17	是
气体处理系统及具有该系统的海上装置	KR20180075574	韩国	B63，F17	是
微藻的培养方法及培养装置	JP20130102808	日本	C12	否

chinaXiv:202303.09988v1

ChinaXiv合作期刊

来一段时间的研发活动可能会逐年增多，科学的专利布局策略可提高我国在此领域的话语权。为规避专利风险，提高我国专利的市场覆盖率和技术知名度，专利申请可考虑在多国进行专利布局，扩大技术应用范围，进而为我国未来海洋碳封存技术的实地试验和市场应用从领海向其他海域拓展做好铺垫。专利技术研发应结合市场需求，加强校企合作，通过“产-学-研-用”联合机制促进知识成果转化和应用，但为了防范校企之间的专利纷争，在专利申请阶段应尽可能全面地考虑后续研发和相关项目的方向，厘清专利申请人、专利权人和后期项目实施单位之间的关系，避免因利益冲突造成的专利风险。

参考文献

1 Butenschön M, Lovato T, Masina S, et al. Alkalinization scenarios in the Mediterranean Sea for efficient removal of atmospheric CO_2 and the mitigation of ocean acidification. Frontiers in Climate, 2021, 3: 614537.

2 National Academies of Science, Engineering, and Medicine. Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda. Washington DC: The National Academies Press, 2019.

3 Ormerod W G, Freund P, Smith A, et al. Ocean Storage of CO2. Cheltenham: IEA Greenhouse Gas R&D Programme, 2002.

4 Lal R. Carbon sequestration. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences, 2008, 363: 815-830.

5 Boyd P W, Claustre H, Levy M, et al. Multi-faceted particle pumps drive carbon sequestration in the ocean. Nature, 2019, 568: 327-335.

6 Jiao N, Herndl G J, Hansell D A, et al. Microbial production of recalcitrant dissolved organic matter: Long-term carbon storage in the global ocean. Nature Reviews Microbiology, 2010, 8(8): 593-599.

7 Legendre L, Rivkin R B, Weinbauer M G, et al. The microbial carbon pump concept: Potential biogeochemical significance in the globally changing ocean. Progress in Oceanography, 2015, 134: 432-450.

8 Reay D S, Dentener F, Smith P, et al. Global nitrogen deposition and carbon sinks. Nature Geoscience, 2008, 1: 430-437.

9 焦念志, 张传伦, 李超, 等. 海洋微型生物碳泵储碳机制及气候效应. 中国科学：地球科学, 2013, 43(1): 1-18.
Jiao N Z, Zhang C L, Li C, et al. Carbon storage mechanism and climate effect of marine micro biological carbon pump. Scientia Sinica (Terrae), 2013, 43(1): 1-18. (in Chinese)

10 王誉泽, 鲁鋆, 刘纪化, 等. “三泵集成”打造海洋CO_2负排放生态工程. 中国科学院院刊, 2021, 36(3): 279-287.
Wang Y Z, Lu Y, Liu J H, et al. Advocating eco-engineering approach for ocean carbon negative emission. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(3): 279-287. (in Chinese)

11 Luisetti T, Ferrini S, Grilli G, et al. Climate action requires new accounting guidance and governance frameworks to manage carbon in shelf seas. Nature Communications, 2020, 11: 4599.

12 Howard J, Hoyt S, Isensee K, et al. 滨海蓝碳——红树林、盐沼、海草床碳储量和排放因子评估方法. 陈鹭真, 卢伟志, 林光辉, 译. 厦门: 厦门大学出版社, 2018.
Howard J, Hoyt S, Isensee K, et al. Coastal blue carbon—Assessment Method of carbon storage and emission factors of mangrove, salt marsh and seagrass bed. Xiamen: Xiamen University Press, 2018. (in Chinese)

13 Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

14 National Research Council. Climate Intervention: Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration. Washington DC: The National Academies Press, 2015.

15 Goldberg D, Slagle A L. A global assessment of deep-sea basalt sites for carbon sequestration. Energy Procedia, 2009, 1(1): 3675-3682.

16 Goldberg D S, Takahashi T, Slagle A L. Carbon dioxide sequestration in deep-sea basalt. PNAS, 2008, 105(29): 9920-9925.

17 Goldberg D S, Kent D V, Olsen P E. Potential on-shore and

chinaXiv:202303.09988v1

ChinaXiv合作期刊

off-shore reservoirs for CO_2 sequestration in Central Atlantic magmatic province basalts. PNAS, 2010, 107(4): 1327-1332.

18 Tsouris C, Brewer P, Peltzer E, et al. Hydrate composite particles for ocean carbon sequestration: Field verification. Environmental Science & Technology, 2004, 38(8): 2470-2475.

Global Technology of Ocean Carbon Sequestration Based on Patent Analysis

PENG Tianyue TANG Dehao* LIU Liqiang HAN Bing ZHU Benduo

(1 Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou 510075, China;

2 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 511458, China)

Abstract The ocean is the largest and most active carbon reservoir in the world. Through ocean-atmosphere exchange and the photosynthesis of marine plants, the uptake of carbon dioxide (CO_2) by the ocean is much greater than that by soil and vegetation on terrestrial areas. This is essential to mitigate and ameliorate today's global warming which is caused by rising atmospheric CO_2 concentration. Therefore, to achieve the goal of "carbon neutrality" around the country, it is an effective approach to sequester CO_2 in the ocean. This paper summarizes the technical application scope and methods of ocean carbon sequestration. By analyzing correlative patents in the world, the development trend and the advanced experiences of ocean carbon sequestration are studied. This study also provides some suggestions for the future development of ocean carbon sequestration technologies.

Keywords carbon neutrality, ocean, carbon sequestration, patent analysis, negative emission, technology development



彭天玥 中国地质调查局广州海洋地质调查局助理工程师。主要研究领域包括海洋科技情报分析、海洋生态环境研究等。E-mail: pengtianyue@mail.cgs.gov.cn

PENG Tianyue Assistant Engineer in Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey. Her research focuses on intelligence analysis on science & technology and marine ecology & environment, etc. E-mail: pengtianyue@mail.cgs.gov.cn



唐得昊 广州海洋地质调查局海洋生态环境研究所高级工程师。主要研究领域：海洋生态系统结构功能评估、多圈层生态环境效应和海洋碳循环等方面。主持多项国家自然科学基金、广东省自然科学基金、中国地质调查项目等，参与多项科学技术部相关项目、海洋公益性科研专项、广东省实验室重大专项等项目。E-mail: tangdehao@mail.cgs.gov.cn

TANG Dehao Senior Engineer of Marine Ecological Environment Research Institute of Guangzhou Marine Geological Survey, her research focuses on marine ecosystem structure and function assessment, multi-spheric ecological environment effect and marine carbon cycle. She has sponsored by the National Natural Science Foundation of China, Guangdong Natural Science Foundation, China Geological Survey Projects, and so on. She has been involved in the National Basic Research Program of China (973 Program), the Public Science and Technology Research Funds Projects of Ocean, Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory, and so on. E-mail: tangdehao@mail.cgs.gov.cn

*Corresponding author

chinaXiv:202303.09988v1

ChinaXiv合作期刊

附录1 海洋碳封存相关技术专利检索策略

本文进行海洋碳封存相关技术专利的检索式为：(ICMS = (A01G OR A01H OR A01K OR B01 OR B07 OR B09 OR B63B OR B63J OR B65G OR B67D OR C01 OR C02 OR C03 OR C07 OR C08 OR C12 OR C25 OR G01 OR G05 OR G06) OR (ICMS = (E02 OR E21 OR F01 OR F02 OR F03 OR F04 OR F16 OR F17 OR F25) AND TS = ((封存 OR 贮藏 OR 贮存 OR 埋 OR 储碳 OR 碳储 OR 储层 OR sequester* OR sequestration OR inject* OR fix* OR store* OR storage)))) AND TS = (海水 OR 海床 OR 沿海 OR 海岸 OR 滨海 OR subsea OR "sea water" OR undersea OR "under sea" OR ocean* OR oceanic OR seabed OR "sea bed" OR marine OR 海底 OR off-shore OR offshore OR seafloor OR "deep sea" OR deep-sea OR deepsea OR 海洋 OR 深海 OR seawater OR "sea floor" OR submarine) AND TS = (碳 OR 二氧化碳 OR carbon OR "carbon dioxide" OR CO2) AND TS = ((碳中和 OR 蓝碳 OR 二氧化碳湖 OR 封存 OR 贮藏 OR 贮存 OR 埋 OR 储碳 OR 碳储 OR 储层 OR 碳汇 OR 增汇 OR 固碳 OR 碳矿化 OR 矿物碳化 OR 矿石碳化 OR 矿碳化 OR CO2湖 OR "CO2 湖" OR 肥化 OR 铁肥 OR "carbon neutral*" OR "neutral* carbon" OR "carbon dioxide lake" OR "CO2 lake" OR sequester* OR sequestration OR storage OR injection OR inject* OR store* OR fix* OR mineralization OR mineralisation OR mineraliz* OR "mineral carbonate" OR (carbon AND fertiliz* AND (sequest* OR fix* OR storage)) OR ((地层 OR 沉积 OR 地质 OR sediment* OR geology OR geological* OR stratum) AND (封存 OR 贮藏 OR 贮存 OR 埋 OR 储碳 OR 碳储 OR 储层 OR sequester* OR sequestration OR inject* OR fix* OR store*)))) AND PT = 1

■责任编辑：文彦杰

chinaXiv:202303.09988v1